

УДК 696.4:697.341:681.536

## ОСОБЕННОСТИ ПОДБОРА ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В МОДЕРНИЗИРУЕМЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТАХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

*А.М. НИЯКОВСКИЙ; А.Ю. СИДОРОВА  
(Полоцкий государственный университет);  
А.А. НИЯКОВСКИЙ*

*(Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск)*

*Рассматриваются вопросы замены кожухотрубчатых теплообменников на пластинчатые в действующих системах горячего водоснабжения существующих жилых зданий. Выявлены связанные с этим особенности проектирования, эксплуатации и наладки тепловых пунктов при их модернизации. Представлены результаты натурных наблюдений. Даны рекомендации по повышению эффективности работы систем централизованного горячего водоснабжения и проектированию систем автоматического управления тепловых пунктов.*

**Ключевые слова:** *пластинчатые теплообменники, горячее водоснабжение, тепловые пункты, модернизация, эффективность.*

**Введение.** Замена кожухотрубчатых подогревателей горячего водоснабжения (ГВ) на пластинчатые теплообменники (ПТО) является наиболее востребованным энергосберегающим мероприятием, позволяющим снизить потребление тепловой энергии на 7...10 тонн условного топлива в год в расчёте на один индивидуальный тепловой пункт (ИТП) жилого здания. Поскольку такая замена производится в действующей системе горячего водоснабжения, неизбежно возникает вопрос, какие величины расчётной тепловой производительности и расходы нагреваемой воды следует принимать при проектировании пластинчатого водоподогревателя исходя из нормативного или фактического потребления. Опыт эксплуатации ИТП жилых зданий в системе жилищно-коммунального хозяйства свидетельствует, что ошибки при выборе действительной расчётной производительности ПТО могут привести к нарушению нормальной работы систем автоматизации тепловых пунктов, росту температуры воды в обратной магистрали тепловой сети и, как следствие, к снижению эффективности сжигания топлива на источнике тепловой энергии.

Цель настоящей работы состоит в анализе результатов обследования реальных натурных объектов горячего водоснабжения и выявлении условий и особенностей их теплового потребления, а также в исследовании влияния этих особенностей на эксплуатационные характеристики ИТП. Исследование проводилось на существующих объектах КУП «Жилищно-коммунальное хозяйство г. Полоцка».

Данная работа является продолжением ранее выполненных исследований в области теплоснабжения, результаты которых опубликованы в [6–9].

**Теоретические аспекты работы и постановка задачи исследования.** При проектировании водоподогревателей ГВ и подборе оборудования ИТП, как правило, используется методика, изложенная в ТКП 45-4.01-52-2007 «Системы внутреннего водоснабжения зданий. Строительные нормы проектирования» [1], которые должны применяться с учётом требований ТКП 45-4.02-183-2009 «Тепловые пункты. Правила проектирования» [2]. Согласно этому документу при отсутствии баков-аккумуляторов горячей воды расчётную тепловую производительность водоподогревателей для систем ГВ следует производить по максимальным расходам теплоты на горячее водоснабжение в течение часа максимального водопотребления по следующей формуле [1, п. 6.11], кВт:

$$Q_{hr}^h = 1,16 \cdot (q_{hr}^h + q_T^h \cdot k^t) \cdot (55 - t^c), \quad (1)$$

где  $q_{hr}^h$  – максимальный часовой расход горячей воды, м<sup>3</sup>/ч;  $q_T^h$  – средний часовой расход горячей воды за период (сутки, смену) максимального водопотребления, м<sup>3</sup>/ч;  $t^c$  – температура холодной воды в трубопроводах системы внутреннего водоснабжения, °С;  $k^t$  – коэффициент, учитывающий потери тепла трубами.

Точность определения тепловой производительности водоподогревателей для систем ГВ зависит от соответствия фактическим обстоятельствам используемых при вычислении: числа потребителей  $U$ , количества водоразборных приборов  $N$ , норм расходов воды одним потребителем и одним водоразборным прибором. Все эти величины могут быть на стадии проектирования получены на основе существующих технических нормативных правовых актов. Однако для поверочных расчётов существующих систем ГВ должны быть уточнены по крайней мере две важные величины (поскольку они легко поддаются контролю) – фактическое число людей, потребляющих горячую воду, и действительные суточные расходы воды одним потребителем.

Расход нагреваемой воды характеризуется в течение суток существенной часовой неравномерностью, численным выражением которой является коэффициент часовой неравномерности водопотребления  $k_v$ . Поэтому расход сетевой воды через водоподогреватель должен регулироваться так, чтобы температура нагреваемой воды равнялась заданной величине. При этом требуется, чтобы выбранные регуляторы температуры и их регулирующие клапаны как можно точнее соответствовали действительным расходам и давлениям теплоносителя в ИТП.

Подбор регулирующих клапанов для подогревателей системы ГВ производится при расходе греющего теплоносителя, соответствующем максимальному часовому расходу нагреваемой воды  $q_{hr}$ , и температурах греющего теплоносителя, соответствующих точке излома температурного графика в подающей и обратной магистралях тепловой сети на вводе в ИТП («нижняя срезка»), например, 60/30 °С.

Перепад давлений на регулирующих клапанах теплового пункта определяется с учётом перепада давлений в трубопроводах тепловой сети на вводе в здание,  $\Delta P_c$ , который обычно принимается по официальным данным теплоснабжающей организации с запасом 20%, то есть на уровне  $0,8\Delta P_c$ .

Для обеспечения качественного процесса регулирования и долговечной работы регулирующего клапана перепад давлений на нём,  $\Delta P_{кл.}$ , при полном открытии должен быть равен не менее чем половине перепада давлений на регулируемом участке,  $\Delta P_{py}$  [5]. Регулируемый участок – часть трубопроводной сети с теплоиспользующей установкой, где расположен клапан, между точками со стабилизированным перепадом давлений при его колебаниях в пределах  $\pm 10\%$ . Рекомендуемое минимальное значение перепада давлений на регулирующем клапане составляет 0,3 бар. В то же время расход среды через клапан и перепад давлений на нём не должны превышать предельных значений, гарантирующих бесшумную работу клапана и отсутствие кавитации.

В основе подбора регулирующего клапана лежит его пропускная способность  $K_v$ , которая соответствует расходу  $G_p$  ( $m^3/ч$ ) жидкой среды с температурой 20 °С, проходящей через полностью открытый клапан при перепаде давлений на нём  $\Delta P_{кл.} = 1$  бар, и является конструктивной характеристикой клапана. Подбор клапана производится по величине условной пропускной способности  $K_{vs}$ . Требуемая условная пропускная способность с рекомендуемым запасом определяется в зависимости от расчётного расхода теплоносителя через клапан ( $m^3/ч$ ) и от перепада давлений на нём (бар) по формуле (2) [5]:

$$k_{vs} = 1,2 \cdot k_v = 1,2 \cdot \frac{G_p}{\sqrt{\Delta P_{кл.}}}, \quad (2)$$

Поверхность теплообмена ПТО определяется в соответствии с общепринятой формулой:

$$F = \frac{Q_{hr}^h}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ );  $\Delta t_{cp}$  – температурный напор (среднегеометрическая расчётная разность температур) между греющей и нагреваемой средой, °С.

Коэффициент теплопередачи определяется по следующей формуле:

$$k = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4)$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий уменьшение коэффициента теплопередачи из-за термического сопротивления накипи и загрязнений на пластине (в зависимости от качества воды принимается равным 0,75...0,9);  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от греющей среды к стенке пластины, Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ );  $\alpha_2$  – коэффициент тепловосприятости нагреваемой средой от стенки пластины, Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ );  $\delta_{cm}$  – толщина стенки пластины в направлении теплового потока, м;  $\lambda_{cm}$  – теплопроводность стенки пластины в направлении теплового потока Вт/( $m \cdot ^\circ C$ ).

Коэффициенты  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  существенно зависят от скорости движения сред в водоподогревателе, а величины самих скоростей определяются геометрическими параметрами ПТО и расходом теплоносителей.

Принимая во внимание изложенное выше, можно обозначить следующие направления исследования и анализа данных о фактических режимах потребления теплоты и воды в действующих системах горячего водоснабжения жилых зданий, рассматриваемых в данной работе:

- влияние фактической численности жильцов в зданиях на технические условия, которые выдаются для проведения теплового и гидравлического расчёта ПТО;
- влияние удельного потребления горячей воды жильцами на указанные технические условия;
- влияние связанных с перечисленными выше факторами расходов сетевой греющей воды на результаты расчёта и подбора регулирующих органов (клапанов-регуляторов расхода) и работу систем автоматического регулирования температуры нагреваемой воды в системе ГВ.

**Полученные результаты.** Расчётные расходы теплоты и воды на нужды горячего водоснабжения определены для условного числа водопользователей при фактическом числе водоразборных устройств и нормативном потреблении воды на основе удельных норм расхода, определяемых в соответствии с техническими нормативными правовыми актами [1–3]. Условное (среднестатистическое) число водопользователей определено по укрупнённым нормам площади здания на одного человека или по числу квартир в доме и комнат в квартире. Этот расчёт отвечает ситуации, когда система горячего водоснабжения должна обеспечить максимально возможное для данного здания нормативное число водопотребителей в условиях нормативного, среднестатистического водопотребления.

По аналогичной методике выполнены расчёты и для фактической численности жильцов, определённой на основании сведений, предоставленных организацией ЖКХ, при нормативных расходах нагреваемой воды. Этот расчёт соответствует фактически сложившемуся в рассматриваемых зданиях числу водопотребителей (оно значительно ниже нормативного), но в предположении, что объёмы водопотребления сохраняются на нормативном, среднестатистическом уровне. Установлено, что использование для расчёта тепловой производительности водоподогревателей не условного (нормативного), а фактического числа жителей (пользователей), обеспечило в разных зданиях снижение требуемой мощности водоподогревателей на 20...46%. Далее, по такой же методике были выполнены расчёты при фактических расходах нагреваемой воды в системах ГВ зданий, которые определены на основе анализа обобщённых данных ежемесячного квартирного учёта по обследуемым объектам за август – сентябрь 2017 года.

Следует считать установленным тот факт, что реальное суточное потребление воды и теплоты на нужды ГВ в рассматриваемых зданиях существенно ниже нормативных значений. При этом потребная расчётная тепловая производительность водоподогревателей по сравнению с нормативным удельным водопотреблением меняется не столь значительно, так как характеристики водоразборного оборудования и режим его работы при максимальном водоразборе практически не изменяются.

Сравнение расходов воды и теплоты в системах ГВ рассматриваемых зданий при различном сочетании нормативных и фактических показателей водопотребления дано в таблице 1.

Таблица 1. – Расчётная мощность водоподогревателей в системах ГВ рассматриваемых зданий при различных моделях исходных данных и их сопоставление с выданными техническими условиями

№ объекта	Адрес объекта исследования	Результаты расчётов по моделям исходных данных			Технические условия, выданные теплоснабжающей организацией
		«Нормативная модель»	«Скорректированная нормативная модель»	«Реальная модель»	
		расчётная тепловая производительность водоподогревателя, $Q_{hr}^h$ , Гкал/ч	расчётная тепловая производительность водоподогревателя, $Q_{hr}^h$ , Гкал/ч	Расчётная тепловая производительность водоподогревателя, $Q_{hr}^h$ , Гкал/ч	Тепловая производительность водоподогревателя, $Q_{hr}^h$ , Гкал/ч
1	пр-т Ф. Скорины, 17/6	0,2581	0,1469	0,1284	0,2567
2	пр-т Ф. Скорины, 21	0,1483	0,0881	0,0773	0,1543
3	пр-т Ф.Скорины, 40	0,1517	0,0925	0,0813	0,1575
4	ул. Коммунистическая, 12	0,1243	0,0935	0,0829	0,1292
5	ул. Коммунистическая, 14	0,2391	0,1451	0,1253	0,2483
6	ул. Гоголя, 22	0,2391	0,1290	0,1120	0,2483
7	ул. Октябрьская, 39	0,2028	0,1280	0,1108	0,2292
8	ул. Октябрьская, 58	0,3533	0,2821	0,2404	0,3665
	пр-д Октябрьский, 1	0,1777	0,1479	0,1277	0,1843
10	ул. Ф.Скорины, 10	0,1517	0,0999	0,0863	0,1510
11	ул. Свердлова, 16/29	0,1713	0,1112	0,0978	0,1779
12	ул. Свердлова, 25	0,2372	0,1534	0,1338	0,256
13	ул. Пушкина, 9	0,1517	0,1040	0,0908	0,1575
14	ул. Ленинградская, бв	0,1451	0,0768	0,0680	0,155
15	ул. Ленинградская, бг	0,1102	0,0826	0,0718	0,114

Расход греющей сетевой воды определён для условных расчётных значений её температур на входе и выходе водоподогревателя:  $T_1 = 60$  °С и  $T_2 = 30$  °С. Начальная и конечная температуры нагреваемой воды в случае нормативного водопотребления приняты равными соответственно 5 °С и 55 °С, для фактического водопотребления в анализируемый неотапительный период соответственно 10 °С и 55 °С.

В расход водопроводной воды жильцами не включается циркуляционный расход, предназначенный для компенсации тепловых потерь трубопроводами. В то же время величина расхода греющей сетевой воды  $G_{сп}$ , м<sup>3</sup>/ч, определяется с учётом затрат теплоты на подогрев циркуляционного расхода воды,

которые в соответствии с указаниями [1 и 2] приняты равными 0,3 от среднечасового расхода теплоты на нужды горячего водоснабжения. Полученные результаты представлены на рисунках 1–3.

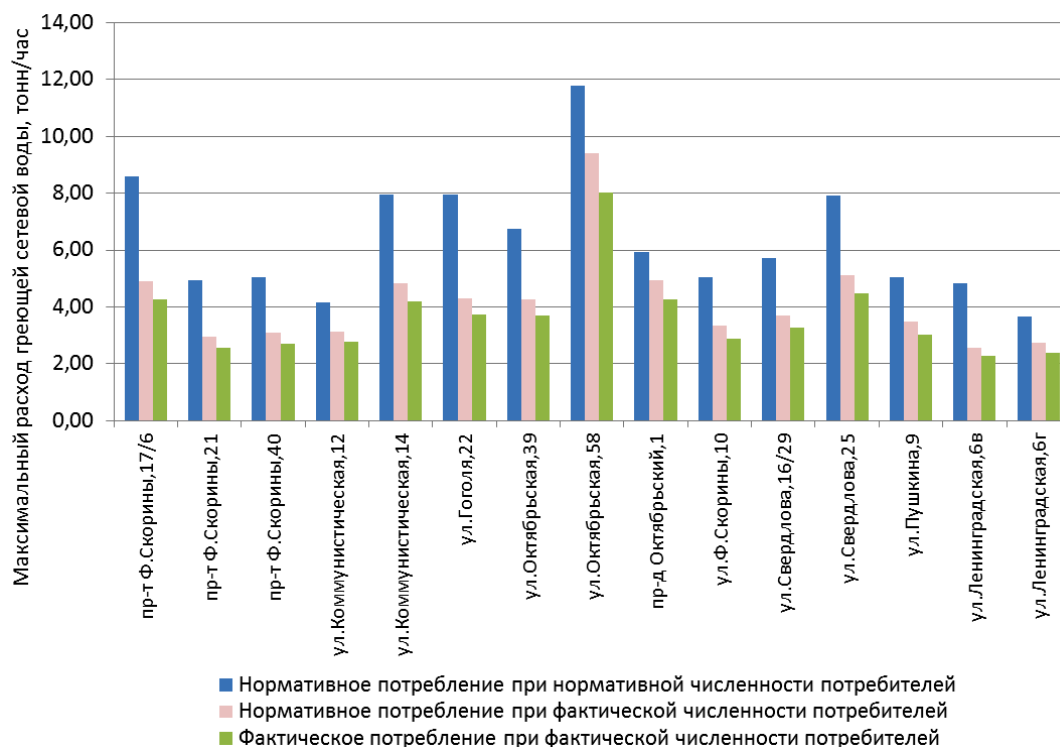


Рисунок 1. – Сравнение максимальных часовых расходов сетевой воды на нужды ГВ рассматриваемых зданий при различном сочетании показателей водопотребления и численности потребителей (жителей)

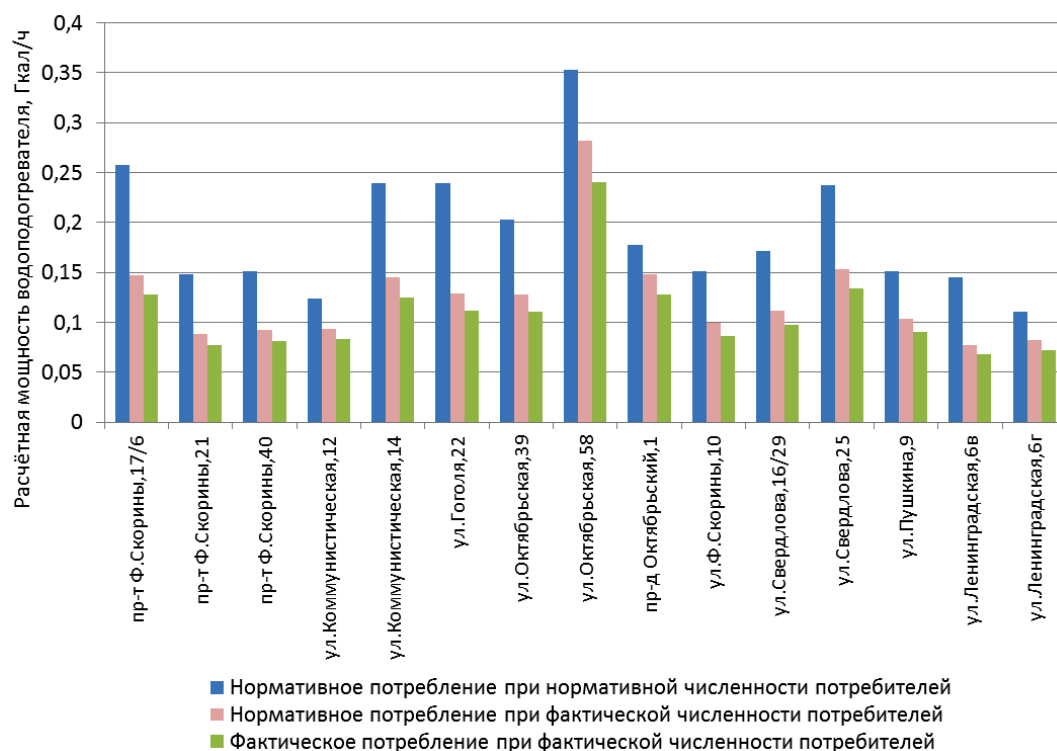


Рисунок 2. – Сравнение требуемой часовой теплопроизводительности водоподогревателей ГВ рассматриваемых зданий при различном сочетании показателей водопотребления и численности потребителей (жителей) (максимальные за сутки часовые расходы теплоты)

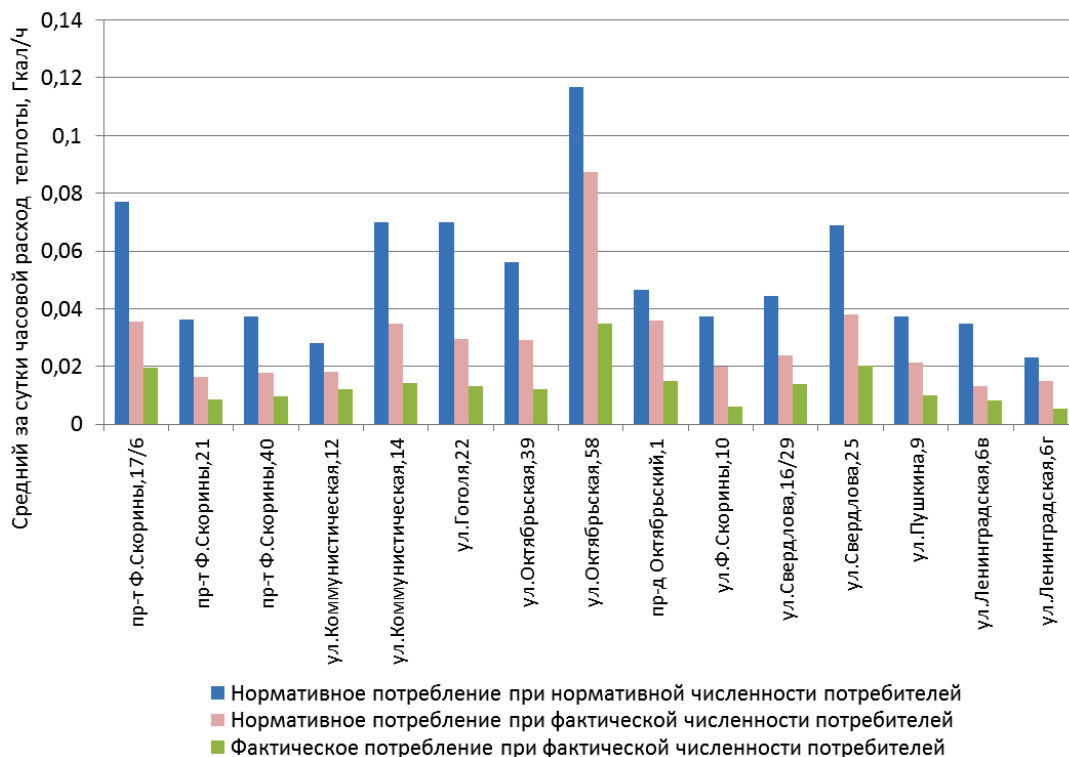


Рисунок 3. – Сравнение требуемой часовой теплопроизводительности водоподогревателей ГВ рассматриваемых зданий при различном сочетании показателей водопотребления и численности потребителей (жителей) (средние за сутки часовые расходы теплоты)

Полученные результаты позволяют сделать ряд выводов:

*Во-первых*, потребление теплоты и воды на нужды ГВ главным образом зависит от того, какое количество проживающих в зданиях жильцов принять в расчёт – нормативное или фактическое. Игнорирование этого обстоятельства ведёт к завышению расчётных расходов сетевой воды и расчётной мощности водоподогревателей по рассматриваемым объектам на 17...47%, при этом среднее часовое потребление завышается соответственно на 23...62% в зависимости от условий конкретного здания.

*Во-вторых*, расходы теплоты и воды в системах ГВ зависят также и от фактического удельного потребления нагреваемой воды в расчёте на одного проживающего в сутки. Если вместо нормативных значений учитывать в расчётах фактическую численность проживающих и фактические объёмы удельного водопотребления на нужды ГВ, то снижение расчётных расходов сетевой воды и расчётной мощности водоподогревателей может составить 28...53%, а среднего часового потребления – на 68...83% в зависимости от условий конкретного здания.

Таким образом, при выборе технических условий для проектирования водоподогревателей ГВ в условиях существующих зданий могут быть предложены следующие модели исходных данных:

- 1) *нормативная модель*, соответствующая нормативному потреблению горячей воды на нужды ГВ при нормативной численности потребителей (проживающих) в здании;
- 2) *скорректированная нормативная модель*, представляющая собой первую модель, в которой вместо нормативной используется фактическая численность водопотребителей;
- 3) *реальная модель*, основывающаяся на фактическом числе потребителей при фактически сложившемся удельном потреблении воды на нужды ГВ и при скорректированных начальных температурах нагреваемой и греющей воды.

Каждая такая модель характеризуется параметрами, включающими: расчётные температуры греющей сетевой воды  $T_1$  и  $T_2$  соответственно на входе и выходе водоподогревателя в точке излома температурного графика; температуры нагреваемой воды до и после нагрева,  $t_x$  и  $t_z$ ; средний за сутки расход горячей воды, приходящийся на одного потребителя  $q_{u,i}$ ; число потребителей горячей воды (людей, проживающих в зданиях),  $U$ ; число водоразборных приборов  $N$ , а также характеристики расхода воды этими приборами. На основании указанных моделей в соответствии с [1–3] нами выполнен расчёт основных показателей потребления воды и тепла зданиями на нужды ГВ, определены расчётные тепловые нагрузки, необходимые для подбора водоподогревателей. Полученные результаты сопоставлены с технически-

ми условиями на проектирование ПТО, выданными теплоснабжающей организацией. Результаты этих расчётов в сопоставлении представлены в таблице 1.

Если опираться на заданные теплоснабжающей организацией технические условия, то для обследованных зданий при проектировании ПТО возникает значительный запас поверхности нагрева, превышающий потребности реальных режимов эксплуатации при меньшей фактической максимальной тепловой нагрузке, обусловленной снижением числа жильцов и удельным потреблением воды по сравнению с нормативными значениями.

Вместе с тем избыточная площадь теплообменной поверхности сама по себе не должна расцениваться только как недостаток ПТО, поскольку при прочих равных условиях это способствует увеличению времени нормальной эксплуатации блока ГВ без проведения его очистки от загрязнений. Однако в силу конструктивных особенностей наращивание поверхности нагрева в ПТО производится путём увеличения не только размера пластин, но и числа каналов для движения теплообмениваемых сред. Увеличение числа каналов ведёт к росту площади живого сечения теплообменника, а следовательно и к падению скорости движения в нём греющего и нагреваемого теплоносителей. В итоге при реальной (гораздо меньшей) производительности существенно снижаются потери давления воды по ходу водонагревателя.

Снижение расходов и потерь давления в контуре греющего теплоносителя по сравнению с ожидавшимися расчётными величинами может привести к нарушению нормальной работы регулирующих органов систем автоматического управления тепловым потреблением: клапанов, регуляторов и другого подобного оборудования. В связи с чем, используя методики, изложенные в [2] и [4], выполнена оценка работоспособности имеющихся в обследованных зданиях регулируемыми органами в условиях их фактической эксплуатации. Для этого были определены требуемые параметры регулирующих клапанов в контуре греющей воды при фактических расходах теплоносителя, проходящего через водоподогреватели. В итоге сделаны следующие *выводы*:

- регулирующие клапаны, подобранные для нормативных условий, в реальных условиях работают с низким значением коэффициента управления, что ведёт к отклонению действительной характеристики клапана от теоретической и росту фактического расхода через него против требуемого;

- на регулируемых участках блоков ГВ при расчётных расходах теплоносителя во всех режимах эксплуатации имеет место значительный непогашенный остаток располагаемого давления, в результате чего перепад давления на клапанах увеличивается сверх расчётного на величину этого непогашенного остатка, что может периодически вызывать рост расхода через водоподогреватели сверх потребного;

- степень открытия клапанов при максимальном расчётном расходе составляет, в среднем, около 50%, регулирующие клапаны при малых расходах теплоносителя работают почти полностью закрытыми, в то же время их полное закрытие становится невозможным из-за высокого перепада давления, в результате регулировка не может быть устойчивой, что приводит к чрезмерному расходу греющей сетевой воды;

- схема автоматизации без балансировочных клапанов и регуляторов перепада давления на регулируемых участках при значительной часовой неравномерности потребления горячей воды представляется недостаточной.

Практически во всех обследованных зданиях, где проектирование ПТО было выполнено с использованием «нормативной модели» технических условий имело место завышение температуры воды в обратной магистрали в неотапительный период эксплуатации.

Рост температуры «обратки», помимо этого обстоятельства может быть обусловлен и другими факторами, поэтому исследованию данного феномена будет посвящена другая публикация.

**Заключение.** Проведённые исследования показывают, что при модернизации ИТП жилых зданий, связанной с заменой кожухотрубчатых теплообменников на пластинчатые, проектирование последних должно осуществляться с использованием реальной модели технических условий, учитывающей фактическое число потребителей в системе ГВ и действительное удельное водопотребление.

При невыполнении этих условий поверхность нагрева и живые сечения ПТО для прохода теплообмениваемых сред оказываются завышенными, что приводит к падению коэффициента теплопередачи, сбоям в работе систем автоматики ИТП и, как следствие, к завышению температуры воды в обратной магистрали, особенно в неотапительный период.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Системы внутреннего водоснабжения зданий. Строительные нормы проектирования = Сістэмы ўнутранага водазабеспячэння будынкаў. Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45-4.01-52-2007 ; изд. офиц. / М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь. – Минск, 2008. – 47 с.
2. Тепловые пункты. Правила проектирования : ТКП 45-4.02-183-2009 / М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь. – Минск, 2010. – 47 с.

3. Тепловые сети. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-4.02-182-2009 / М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь. – Минск, 2010. – 53 с.
4. Методика подбора регулирующих клапанов TRV и регуляторов давления RDT. – М. : ГРУППА КОМПАНИЙ «ТЕПЛОСИЛА», 2017. – 22 с.
5. Применения средств автоматизации «Danfoss» в тепловых пунктах систем центрального теплоснабжения зданий : пособие. – М. : Данфосс, 2016. – 65 с.
6. Няковский, А.М. Формирование рациональной теплоэнергетической системы предприятий железобетонных изделий при их модернизации / А.М. Няковский // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F, Строительство. Прикладные науки. – 2012. – № 8. – С. 93–98.
7. Няковский, А.М. Выбор оптимальной плотности теплового потока при расчёте тепловой изоляции трубопроводов с целью обеспечения заданного коэффициента полезного действия тепловой сети и снижения выброса вредных веществ в атмосферу / А.М. Няковский, Ф.И. Москалёнок, А.Ю. Сидорова // Материалы докл. 50-й Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов, посвящ. году науки. Т. 1. – Витебск : Витеб. гос. технол. ун-т, 2017. – С. 299–302.
8. Няковский, А.М. К выбору плотности теплового потока при проектировании тепловой изоляции тепловых сетей / А.М. Няковский, Э.И. Гончаров, О.И. Мишута // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F, Строительство. Прикладные науки. – 2017. – № 8. – С. 147–155.
9. Няковский, А.М. Управление температурными режимами тепловых сетей с целью снижения энергопотребления в системах теплоснабжения / А.М. Няковский, В.А. Пшеничнюк, А.В. Григорович // Материалы докл. 48-й Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов, посвящ. 50-летию ун-та : в 2 т. Т. 2. – Витебск : Витеб. гос. технол. ун-т, 2015. – С. 76–78.

Поступила 14.05.2018

**SELECTION FEATURES  
OF PLATE HOT WATER HEAT EXCHANGERS  
IN THE IMPLEMENTATION OF MODERNISED INDIVIDUAL HEATING PLANTS  
OF EXISTING BUILDINGS**

**A. NIYAKOVSKI, A. NIYAKOVSKI, A. SIDOROVA**

*Issues of replacing shell-and-tube heat exchangers with lamellar ones in existing hot-water supply systems of existing residential buildings are considered. The associated features of the design, operation and adjustment of heat points during their modernization are identified. The results of field observations are presented. Recommendations for improving the efficiency of centralized hot water supply systems and the design of automatic control systems for heat points are given.*

**Keywords:** *plate heat exchangers, hot water supply, heat points, modernization, efficiency.*